第1章

フレキシブル・プリント基板を使いこなそう!

――小型化に加えて，ノイズ対策や性能向上などにも有効

三村 修

ここでは，フレキシブル・プリント基板（FPC：flexible printed circuit）の特徴や利点について説明する．FPCを使いこなすことができれば，機器を小型化できるだけでなく，放射ノイズやクロストーク・ノイズなど，さまざまなノイズを抑制できる．使いこなすためにはFPCの構造やプリント基板などへの接続方法の理解が必須である．（編集部）

フレキシブル・プリント基板は，一般に柔軟性を持ったプリント基板の総称です．皆さんは「フレキ」とか，「FPC」と呼んでいるのではないでしょうか．

フレキシブル・プリント基板（以降，FPC）は，すでに多くの電子機器に利用されており，装置の小型化・高密度実装化に欠かせない技術要素の一つです．

● 薄型テレビや携帯機器はFPCがあってこそ薄い

電気店ではブラウン管テレビがほとんど姿を消して，液晶テレビやプラズマ・テレビなどの「薄型テレビ」が数多く展示されるようになりました．もし，FPCがなかったとしたら，液晶テレビやプラズマ・テレビもブラウン管と同じ奥行きになっていたかもしれません．

液晶テレビなどは，パネル面からFPCがいくつも出ており（写真1），パネル面裏側の制御基板に接続されています．かりに，通常のピン・タイプのコネクタを利用したとすると，パネル面裏側のほとんどをコネクタが占領し，まるで剣山のようになってしまうことでしょう．FPCの特徴である「薄い」，「折り曲げられる」といった特性によって薄型テレビは成り立っていると言えます．

最近の電子機器の小型化とFPCは密接な関係にあり，FPCなしには成り立たない製品も数多くあります．何億回という折り曲げにも耐えられるという屈曲性の良さから，HDD（hard disk drive）のピックアップ部分にはFPCが採用されています（写真2）．

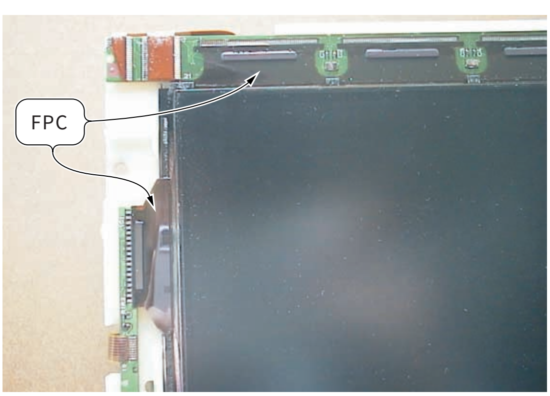


写真1　TFT液晶パネル(6)

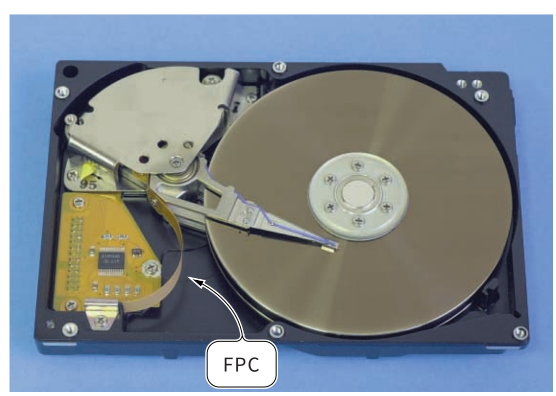


写真2　3.5インチHDD MK1034FC（東芝製）(7)

KeyWord　フレキシブル・プリント基板，FPC，リジッド・フレックス，両面露出構造，フライング・リード，厚膜FPC，薄膜FPC，レジスト，COF，フリップチップ

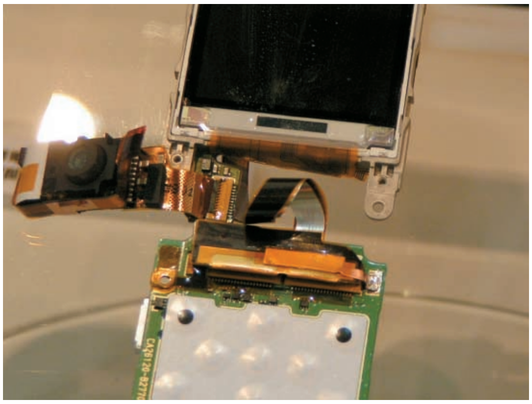


写真3　携帯電話の折り曲げ部で使われるFPC(8)

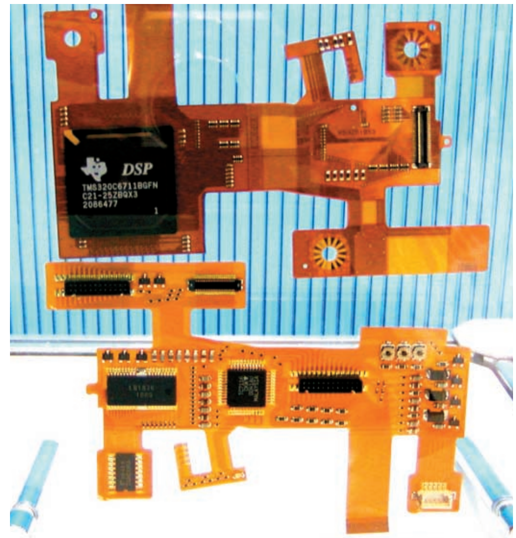


写真4　LSIや受動部品を実装したFPC（太洋工業製）

携帯電話も「FPCなしには成り立たない製品」の一つです．昔の携帯電話をご存じの方は最近の携帯電話を見て，「薄くなったなあ」と感じているのではないでしょうか．筆者が持っていた最初の携帯電話は厚さが5cm以上で，10万円近くもしました．最近の携帯電話では1cm以下にまで薄型化した製品もあります．これは，FPCによってモジュール間の配線効率が高まり，コネクタやケーブルなどのスペースや手間のかかる部分を簡素化できたことによって実現されました（**写真3**）．

このようにFPCは，配線効率の向上といった経済性も兼ね備えています．また，耐熱性に優れた無機ガラスをベースとした有機EL発光体や太陽電池など，応用範囲はますます増えていくと予想されています．

● 配線を集約でき，曲げに強い

FPCの特徴といえば，薄いことや曲げられることが挙げられますが，それだけではありません．薄いことから，配線の軽量化（コネクタ・レス接続，ケーブル・レス接続）が可能となります．最近の携帯電話では150～200本程度の配線をわずか幅1cm程度に集約したFPCが使われています．配線を集約できるFPCは，コネクタや電線などを使うことなく薄型設計が可能となります．

次に，曲げられるという特徴を利用することで，3次元的な部品配置が可能となり，接続のための余計なスペースを省略できます．とくに携帯電話やノート・パソコンのヒンジ部分など，折り曲げ耐性を要求される部分はFPCの独壇場です（**写真3**）．

良いことづくめのようですが，搭載できる部品に制限があり，耐熱性や耐久性が良くないことから，修理を行えないという欠点もあります[注1]．組み立てラインにおける不良品は，場合によっては部品を搭載したまま破棄しなければならないこともあります（歩留まりが悪い）．部品実装の際に特殊な工具や治具が要求される場合もあり，製造コストは，一般的なプリント基板とワイヤ・ハーネスの組み合わせの数倍以上になってしまいます．設計も3次元的な配置や強度計算が必要となり，難易度が高いのが現実です（**写真4**）．それにもかかわらず，FPCが多く使われるようになった理由は，総合的に判断すれば，製品化の際のコスト・ダウンにつながるからです．

● 歴史は古く，1960年代の宇宙開発や軍事用

FPCの歴史は意外に古く，もともとは1960年代に宇宙開発，航空，軍事などの用途に使われてきました．1970年代になり，小型化を要求される光学1眼レフ・カメラなど，民生品にも転用されるようになりました．

最初は米国DuPont社の開発したPTFE（poly tetra fluoro ethylene：四フッ化エチレン樹脂）やポリイミドを使ったポリイミド・フィルムがベースでした．とくにポリイミド・フィルムは，耐熱性や電気絶縁性に優れたプラスチックの一種で，銅はくの回路やカバーフィルム，補強材などとともにFPCを構成します．

ポリイミド・フィルムは硬く加工しにくいものでしたが，

注1：ポリイミドならば数回のはんだ付けは可能だが，通常の基板に比べると物理的な耐久性は劣る．ポリエステルの場合，70℃以上には耐えられないため，はんだ付けなどは不可能．

その剛直性が幸いし，熱や吸湿に対する寸法安定性の高さが評価され，折り曲げられるプリント基板素材であるFPCが誕生しました．現在もこのポリイミド・フィルムは多く使われています．

● ベース・フィルムと導体，カバーレイで構成される

FPCは基礎となるベース・フィルム，電気信号を通す導体，導体を保護するカバーレイから構成されます．基礎部分の材料はポリイミドやポリエステルで，厚さは50μm程度です．実際にはこれにカバーレイが加わるので，全体の厚さは100μm程度になります(**図1**)．一般的なプリント基板の厚さが1.6mmや1.2mmであることから比べると，かなり薄いことがわかります．なお，一般的なプリント基板も厚さが0.2mm以下になると，ある程度曲げることができるようになり，FPCのように利用されることがあります．

FPCの導体材料には，ガラス・エポキシ基板と同じ銅はくが多く使われています．ガラス・エポキシ基板の場合は電解銅はく(めっき技術によるもの)ですが，FPCの場合，この電解銅はくでは屈曲に耐えられない場合もあり，圧延銅はく(銅板を厚さ10μm程度まで薄く延ばしたもの)が利用されます．

基板材料と導体材料を一つにしたものを銅張積層板と呼びます．FPC用のフレキシブル銅張積層板の見た目はプリント基板と同じですが，薄いため，「ぺらぺら」しています．この銅張積層板に加工する方法の違いから，接着剤タイプ銅張積層板と無接着剤タイプ銅張積層板の二つに分けられます(**図2**)．一般的なFPCでは，基板と銅はくをポリイミドやアクリルなどの接着剤で張り付けたものが利用されています．無接着剤タイプは接着剤層をなくすことで薄くでき，さらに屈曲性能を高めることができるため，多く使われるようになってきました．

プリント基板の場合，銅はく部の保護層としてレジスト(ソルダ・マスク)があります．FPCの場合，この保護層をカバーレイと呼びます．厚さは数十μmですが，接着剤層が必要となる場合は約2倍の厚さになります．カバーレイ材料としては，ポリイミドやポリエステル，エポキシなどが利用されています．

補強板はFPC特有の部品です．重い部品やコネクタなど，力の加わる部分へ機械的な強度を増すために，部分的に補強板が使われます(**図3**)．補強板の材料としては，基板材料と同じポリイミドやポリエステルのほかに，ガラス・エポキシや紙フェノールといった非導電性材料を使うこともあります．

● FPC特有の構造を知っておこう

FPCも一般的なプリント基板も構造はほぼ同じです．片面，両面，多層構造などのほかに，FPC特有の構造，例えばリジッド・フレックスやフライング・リードなどがあり

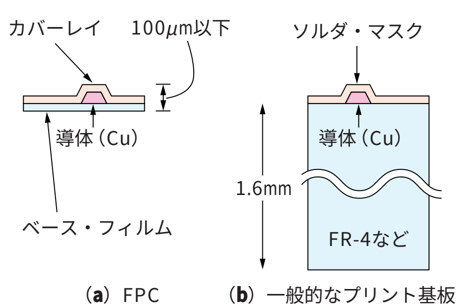


図1　FPCとプリント基板の違い
プリント基板も厚さが0.2mm以下になると，ある程度曲げることができるようになり，FPCのように利用されることがある

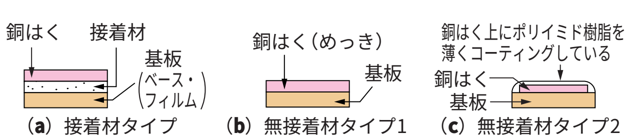


図2　接着剤タイプの銅張積層板と無接着剤タイプの銅張積層板
一般的なFPCでは，基板と銅はくをポリイミドやアクリルなどの接着剤で張り付けたものが利用されている

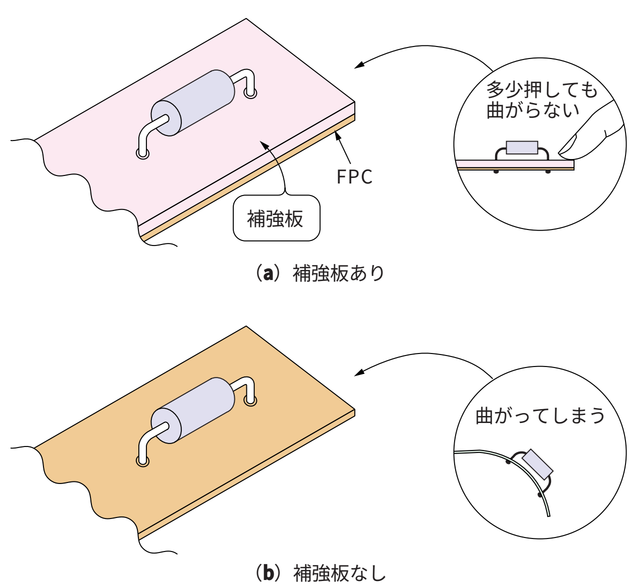


図3　FPCの機械的な強度を増すための補強板
補強板の材料としては，基板材料と同じポリイミドやポリエステルのほかに，ガラス・エポキシや紙フェノールといった非導電性材料を使うことがある

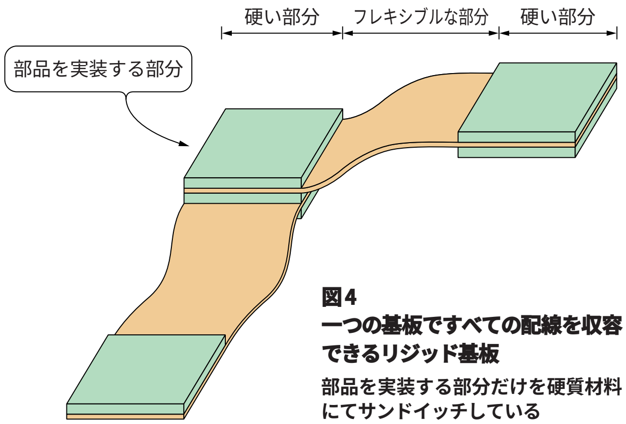


図4
一つの基板ですべての配線を収容できるリジッド基板
部品を実装する部分だけを硬質材料にてサンドイッチしている

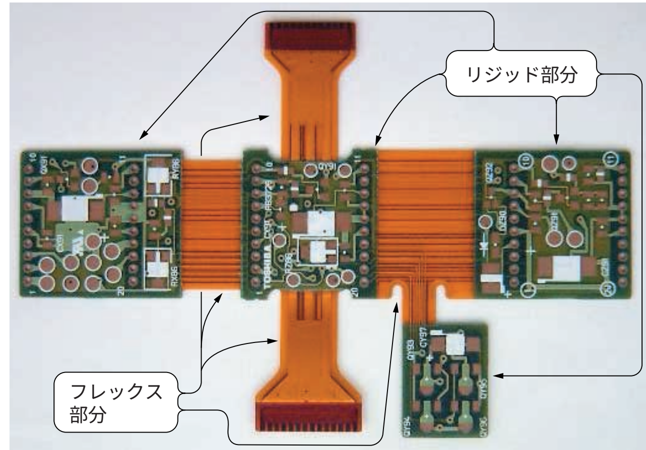


写真5　リジッド・フレックス(9)

ます．多層構造のFPCの場合，スルー・ホール接続はもちろんのこと，ブラインド・ビア接続も行えます．

FPCの特性を最大限に生かした構造の一つとしてリジッド・フレックスが挙げられます（**図4**，**写真5**）．メーカによって呼びかたが異なりますが，一つのFPCに対して，部品を実装する部分だけを硬質材料でサンドイッチし，堅い部分（リジッド）とそれらを結んで曲げ配置を可能にする柔軟な部分（フレックス）を合わせた構造です．

両面露出構造は，FPCの特性を最大限に生かした構造の一つで，ベース・フィルムの薄さを利用して，片面FPCの裏面に穴などを開け，導体部分に直接コンタクトをとっています（**図5**）．導体部はカバーレイ部分によって保持される形になります．

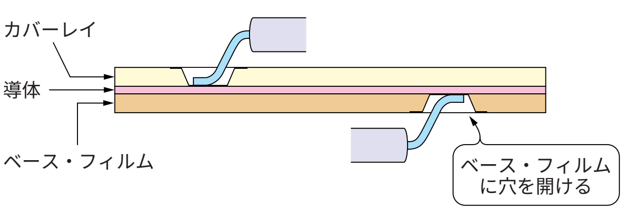


図5　片面FPCの導体に裏面からもコンタクトする両面露出構造
両面プリント基板と比べると小型化や低コスト化が可能

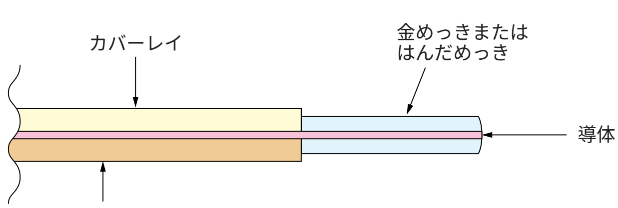


図6　フライング・リード
導体の周りに有機材料がないため，高温をかけることが可能

両面露出構造のFPCからさらに保護部分（カバーレイ）もすべて外してしまったものがフライング・リード構造です（**図6**）．まさに導体部分が浮いた状態になるのですが，導体の周りに有機材料がないため，高温をかけることが可能となり，金ボンディングなどの高信頼性接続を利用できます．

● 基板への接続方法には永久接続と可脱着接続がある

FPCを機器へ実装する場合，はんだ付けによる永久接続と，コネクタなどによる可脱着接続があります．まずは永久接続について説明します．

リード部品やチップ部品をFPCへ実装する際には，基本的に一般のプリント基板と同じ実装方法をとります．小型の部品であれば直接実装することもありますが，一般的には補強板を併用します．補助補強板を利用すれば，自動実装ラインにも対応できます．

FPCをICなどに接続する方法として，FPCの銅はく部分だけを露出させ，めっき処理したものを超音波でICなど

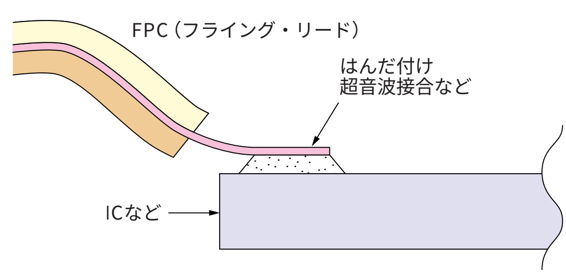


図7　ダイレクト・ボンディング
FPCの銅はく部分だけを露出させ，めっき処理したものを超音波接合によってICなどに接続する

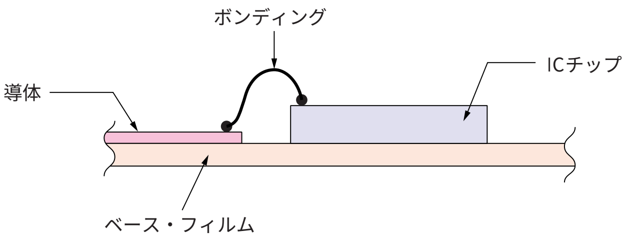


図8　COF（chip on film）
FPC上にベア・チップを実装し，ワイヤ・ボンディングによってFPC上のパターンに接続

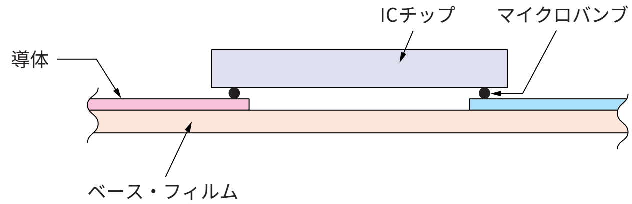


図9　フリップチップ
銅はくパターンに導電性のある突起を形成し，その上にベア・チップを接触させる

に接合するダイレクト・ボンディングという方法があります（図7）．この場合，めっきには軟質金めっき処理などが必要でコストがかかりますが，金属どうしの接合なので信頼性や耐久性もあり，はんだを使用しないので欧州のRoHS（特定有害物質使用制限指令）対応などで最近多く利用されるようになってきました．もちろん，はんだによる融着も可能ですが，この場合，FPC側のベース素材は耐熱性のあるポリイミドや薄型ガラス・エポキシなどに限定されます

熱に弱い素材（ポリエステル・フィルムなど）の場合には，はんだ付けが難しいことがあります．このときは導電性接着剤をはんだ代わりに使って，常温接続します．ただし，導電性接着剤には耐久性やインピーダンスなどの問題があるので，高周波回路や高信頼性を要求される製品には向きません．

最近，多く利用されている接続方法としてCOF（chip on film）があります（図8）．FPC上にベア・チップを実装し，ワイヤ・ボンディングでFPC上のパターンに接続します．このままではベア・チップが露出してしまうので，シリコン樹脂などの保護樹脂をコーティングします．

さらに高密度な実装技術として，フリップチップという実装方法があります（図9）．これは銅はくパターンに導電性のある突起（マイクロバンプ）を形成し，その上にベア・チップを接触させるように実装するものです．COF接続とよく似ていますが，COF接続のようなワイヤ・ボンディングによる接続部分がなく，きわめて高密度な実装を実現できます．

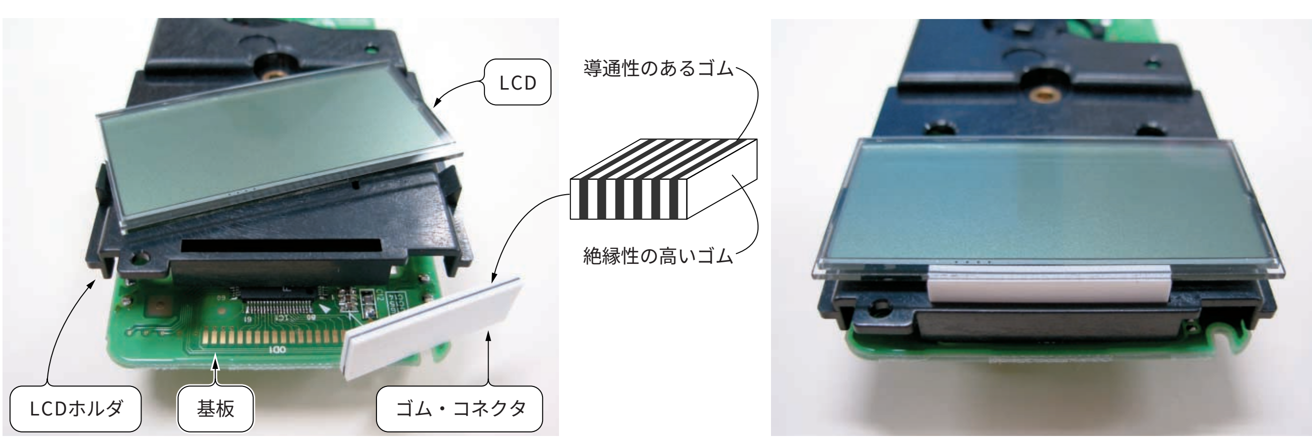
● 可脱着接続は修理や試作の際に便利

可脱着接続にもいくつかの方法があります．

直接可脱着接続は，FPCと硬質プリント基板を直接接触させて，その上から板などをはさんで接続する方法です．接触を確実にするためにゴム・コネクタ（導電性ゴムと絶縁性ゴムを縦方向に並べたもの）などを利用する場合があります（写真6）．

端子挟み込みコネクタは，FPCをコネクタで挟み込むようにして，プリント基板に接続するコネクタです（図10）．

ペア・コネクタは，FPCに専用コネクタを実装したものを，相手側プリント基板のコネクタに接続する方法です



（a）ゴム・コネクタを使って基板とLCDを接続する　（b）接続後

写真6　テスタにおいて液晶ディスプレイとプリント基板をゴム・コネクタで接続した例[10]

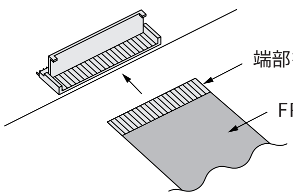


図10　端子挟み込みコネクタ
FPCをコネクタで挟み込むようにして，プリント基板に接続する

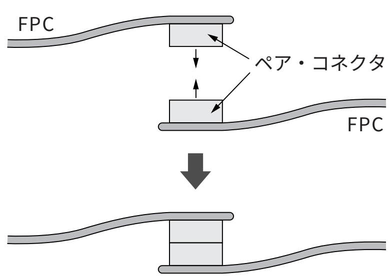


図11
ペア・コネクタ
FPCに専用コネクタを実装したものを，相手側のコネクタに接続する

（**図11**）．端子挟み込みコネクタに比べて，挿抜耐久回数や脱着の確実性に優れています．

サーキュラ・コネクタによる接続は，航空宇宙装置や軍事産業用などのように高い信頼性を要求されるところで利用されます（**写真7**）．

ディンプル構造は，FPCに金型を利用して凸部を作り，その凸部を接触部分とするものです．プリンタ・カートリッジなどで多く利用されており，安価でありながら数万回の脱着耐久性をもちます（**図12**）．

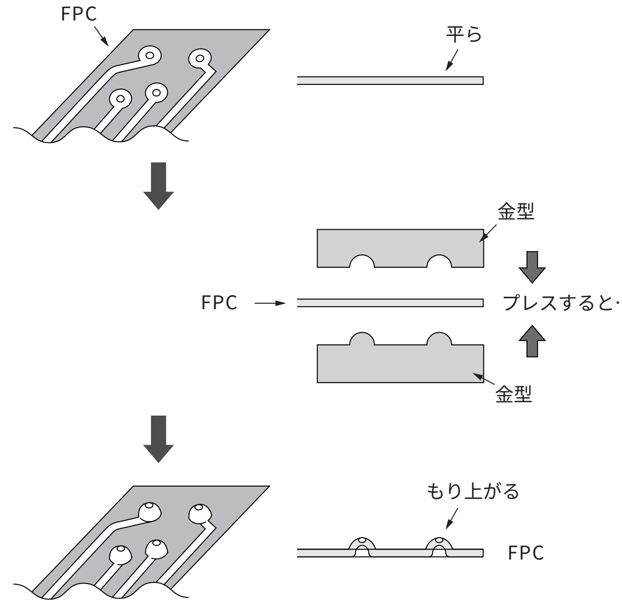


図12　ディンプル構造
FPCに金型を利用して凸部を作り，その凸部を接触部分とする



写真7　サーキュラ・コネクタ（アイティティキャノン製）

参考・引用*文献

(1) 沼倉研史；よくわかるフレキシブル基板の使い方，日刊工業新聞社，2005年1月．
(2) フレキシブル基板技術，NOK，http：//www.nok.co.jp/4_3.html
(3) フレキシブルサーキッツプロダクツガイド，住友スリーエム，http：//www.mmm.co.jp/m-electronics/top.html
(4) フレックスリジッドプリント配線板，旭硝子，http：//www.agc.co.jp/flex-rigid/
(5) プリント配線板，日立化成工業，http：//www.hitachi-chem.co.jp/japanese/products/pwb/index.html
(6)* 新田博幸，工藤泰幸；カラー液晶ディスプレイ・システム詳解，トランジスタ技術，2000年9月号，p.259.
(7)* 山森一毅；進化するハード・ディスク・ドライブ，トランジスタ技術，2001年11月号，p.178.
(8)* 福田 昭；JPCA Show 2005レポート，組み込みネット，http//www.kumikomi.net/article/report/2005/20ctec/01.html
(9)* 青木正光；プリント基板の構造と安全規格，Design Wave Magazine，2003年6月号，p.72.
(10)* 宮澤好幸；小型液晶ディスプレイの選び方と使い方 第3章 固定表示LCDの特徴と使い方，p.91，CQ出版，2006年5月.

みむら・おさむ

<筆者プロフィール>
三村 修．某電気メーカにて営業技術系のしごとに従事．以前はデータ通信装置の開発設計に携わっていた．試作でNGにしたプリント基板は数知れず，おかげでGerberデータをテキスト・エディタで直接編集できるまでに．最近はネットワーク関係のSIコンサルティング業務が多く，はんだごても握っていない．